

地域資源循環拠点の持つ環境負荷削減効果の 総合的評価に関する研究

松本 亨¹・勝原英治²・鶴田 直²・藤山淳史²

¹正会員 北九州市立大学教授 国際環境工学部環境生命工学科 (〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの1-1)

E-mail: matsumoto-t@env.kitakyu-u.ac.jp

²学生会員 北九州市立大学大学院 国際環境工学研究科 (〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1)

エコタウン事業は、平成9年から現在までに26地域が承認され、事業開始後10年以上を経て、所期の目標を達成しているか評価を受ける時期である。また、第2次循環型社会形成推進基本計画で示されるような地域循環圏との関わりや、アジア諸国でのエコタウン建設への日本からの経験移転なども期待されつつある。本研究ではそれらの要請に耐えうる評価手法の開発と、それを用いた北九州エコタウン事業の評価を行った。MFA (Material Flow Analysis)による循環資源の距離別輸送距離分析、LCA (Life Cycle Assessment) によるエコタウン事業の環境負荷削減効果、産業連関表の枠組みを利用したマテリアルバランス表の作成とそれを用いた都市レベルの資源循環構造分析とエコタウンの寄与度分析の手法と結果を示した。

Key Words : Eco-town project, LCA, MFA, material balance table, evaluation indicators

1. はじめに

平成9年に創設されたエコタウン事業は、現在までに26地域が承認された。事業開始後10年以上を経て、所期の目的を達成しているか、その評価を受けるべき時期にきている。第2次循環型社会形成推進基本計画では、「地域循環圏」の考え方が述べられている¹⁾。それは、地域で循環可能な資源はなるべく地域で循環させ、地域での循環が困難なものについては循環の環を広域化させていくといった考え方であるが、特に広域的な資源循環についてエコタウンの役割が期待されている。しかし、実状がどうなっているのか、具体的なデータを用いてそれが検証された例はなく、この観点からの検証も必要である。

さらに、近年アジア諸国にエコタウン建設あるいは循環拠点形成の動きがあり、日本の経験の移転が期待されている²⁾。一言で循環拠点形成といっても、産業間連携に主眼を置くEIP (Eco-industrial Park) と呼ばれるものや、個別品目のリサイクル拠点あるいは複数品目のリサイクル産業集積地が含まれる。日本の経験移転のためには、まず拠点間の比較分析が必要であること、比較分析の項目としては、①外部環境、②立地・運営支援、③実績、④波及効果に関する総合的観点が必要であること

は既報³⁾にて論じた。ここで、①②は定性的な情報が主となるが、③④は定量的な解析によって得られる情報が主体であり、環境面のみならず、経済・社会的側面からの多面的分析が行われることが理想である。複数品目のリサイクル産業集積地においても、まずは個別品目のリサイクルが成立することが前提であり、さらにリサイクル産業集積地を1つの経営体として考えたときの組織運営も考察の対象となるべきである。

このような背景認識のもと、本研究では、以上で概説した比較分析項目の中の、環境面の定量的情報を提供するための総合的評価手法を提示し、それを実際のエコタウン事業へ適用することでその有用性を検証することを目的とする。分析対象エコタウンを、第1号承認地域の1つであり、全国的にも企業立地数が最多で、最も成功していると言われている北九州エコタウン事業とする。第2期計画では、エコタウン事業の対象エリアを、響灘埋立地のエリア内だけでなく、市内全域に拡張している。本研究では、物質フローの面から定量的・客観的に評価することで、北九州エコタウン事業の環境負荷削減効果を定量化するとともに、市全域の物質フローに与えているエコタウン事業の位置づけについても明確にすることも試みる。

なお、本研究では、主にリサイクル産業の集積地を指

して地域資源循環拠点と称する。これは必ずしもエコタウン事業に限るものではないが、ここではその一例としてエコタウンを取り上げる。本研究で示す手法はその他の循環拠点形成に係わる政策展開に対しても応用可能であると考えている。

2. エコタウン事業の評価手法

(1) エコタウン事業の物質循環に関する既往研究

エコタウンの物質循環を定量的に評価した既往研究は少ない。それは、エコタウンの地域指定が行政区と一致しないか、一致する場合でも実質的な活動範囲は行政統計では把握できないことに起因する。つまり、行政統計あるいは行政の既存の調査では、エコタウン地域の立地企業のパフォーマンスを把握できず、別途調査が必要となる。物質循環についてそれを実施しているところは必ずしも多くなく、研究レベルでそれが活用された例も多くない。

山田ら⁴⁾は、秋田エコタウンを対象に、物質フローを解析している。また、柴田ら⁵⁾も同じく、札幌エコタウンの物質フロー分析を実施した。これらの既往研究は、エコタウン事業の一部の立地企業を取り上げているか、全体を扱っていても定量化できているフローは全体のフローのごく一部に留まっている。

藤田ら⁶⁾は、川崎エコタウンの立地企業を対象に、その物質フローの解析ならびにLCAを実施している。また、立地企業への循環資源投入に關してのシナリオ分析を実施し、産業廃棄物のみならず一般廃棄物を投入した場合のCO₂削減効果について分析している。

N. B. Jacobsen⁷⁾は、世界の代表的EIPであるデンマークのカルンボーを対象に、経済的側面及び環境的側面について定量的評価を実施している。K. Charmondusit⁸⁾は、タイの代表的EIPであるMap Ta Phutを対象に、物質消費、水消費、エネルギー消費、有害廃棄物排出量のデータを用いて環境効率の変化を分析している。

著者らは、北九州エコタウンを対象に、物質フロー分析、LCA、環境会計を連動させた分析手法を提示した⁹⁾。また、その後、分析対象企業のカバー率を増やしながら、立地11企業のリサイクルによる環境負荷削減効果について分析した¹⁰⁾。また、個別企業を対象として、リサイクルの環境負荷削減効果の詳細な分析を実施した。具体的には、資源の再生方法によって環境負荷削減効果が異なることから、マテリアル、ケミカルを含めた複数の選択肢と、それによる代替効果の違いについて検討した¹¹⁾。

これらの既往研究はいずれも、エコタウンあるいはEIP地域の企業データを入手し分析することに成功して

表-1 評価対象事業の概略 (H21年7月時点)

	従業員 人	資本金 万円
ペットボトル		10,000
自動車	35	10,000
家電	50	40,000
OA機器	25	3,000
蛍光灯	21	5,000
医療用具	18	4,500
古紙	7	4,000
食用油	4	210
有機溶剤	40	1,000
建設混合廃棄物	15	8,000
	32	1,000
パチンコ台		40,000
飲料容器	28	1,523,100
	10	5,000
プリンタナー	10	4,380
発砲スチロール	11	6,100
廃木材・廃プラスチック	30	30,000
複合中核施設	47	38,500

いる。しかし、多くの場合、立地企業の一部であるためエコタウン地域全体の特性を分析できていないという問題や、物質・エネルギー消費をライフサイクルで把握できていないという問題を有している。そのため、エコタ

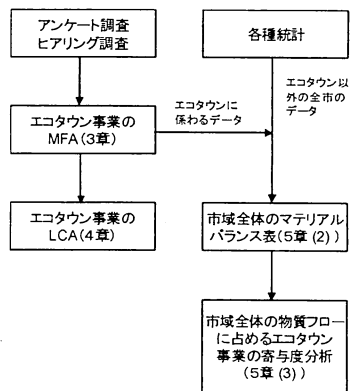


図-1 各分析手法の関係

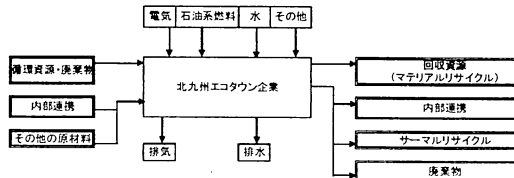


図-2 各企業のマテリアルバランスの概念図

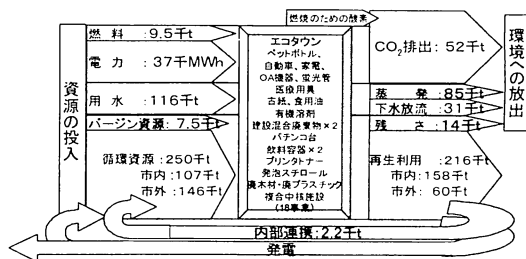


図-3 北九州エコタウン 18企業のマテリアルフロー

距離帯別(IN) 14品目分類

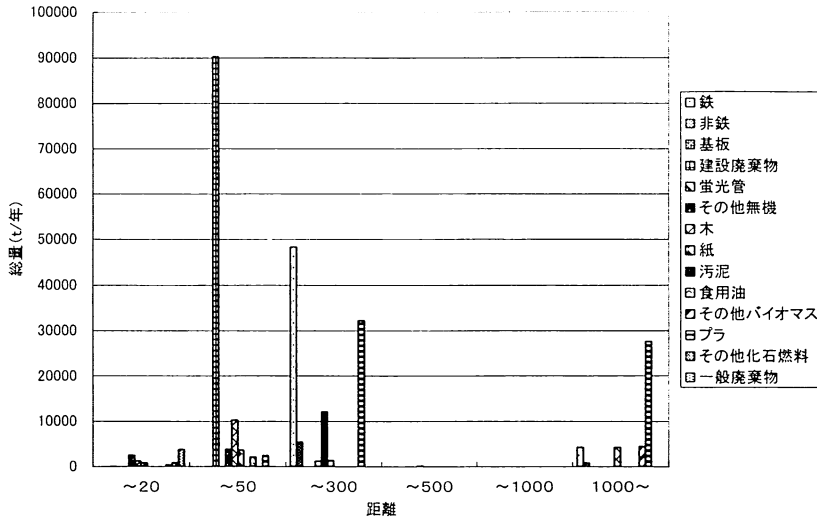


図-4 物質別・距離帯別輸送過程の分類 (搬入側: km)

距離帯別(OUT) 14品目分類

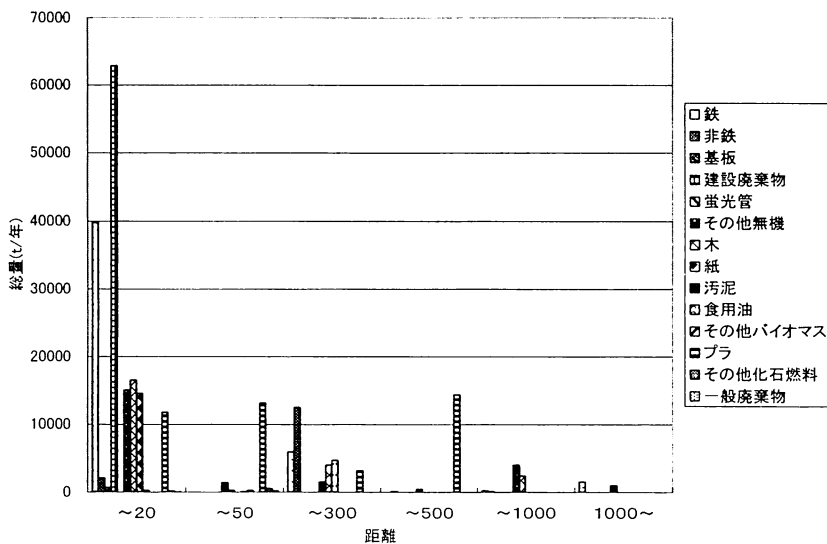


図-5 物質別・距離別輸送過程の分類 (搬出側: km)

ウン地域全体の総合的な環境負荷削減効果を評価できている例は極めて少ない。また、エコタウン立地企業が周辺地域の物質収支構造に及ぼす影響についても定量的分析はない。

(2) 本研究における分析手法の概要

図-1に、本研究で用いる各種分析手法の関係を示す。まず、MFA及びV/LCA手法を用いてエコタウン事業の環境負

荷削減効果を算出する。その際、資源の投入産出の空間構造をより詳細に分析するために、エコタウン内外、市域の内外を意識して分類する。さらに、エコタウン事業が地域全体の物質循環に与える影響を分析するために、市域全体のマテリアルバランス表の作成による物質循環構造の分析と、そこでエコタウンがどのように寄与しているか詳細に分析する。その際、エコタウン関連のデータはMFA及びV/LCAのための収集した情報を用い、それ以外のセクターに関しては各種統計書等、公的データを用い

る。

北九州エコタウン立地企業の物質循環を分析するために、立地企業を対象としたアンケート及びヒアリング調査を実施した。詳細については既報¹²⁾で報告したが、ここでその概要を説明する。調査項目は、①エコタウン外から受入れた量、②エコタウン内から受入れた量、③処理等のため新たに投入した原材料、④エネルギー等の使用量、⑤再生资源として商品化した量、⑥エコタウン外へ搬出した量、⑦エコタウン内へ搬出した量であり、19企業に対してアンケートを実施し、回収後全企業に対してヒアリング調査を平成17年4月～9月に実施した。調査は北九州市と協働で実施し、企業・行政・大学の3者で個別情報の秘匿契約を締結した上でデータの提供を受けた。

投入品目として循環資源・廃棄物、バージン資源、エネルギー他ユーティリティ、産出品目として、再生資源、排気・排水・廃棄物を想定した。対象企業は、北九州エコタウン内に立地する全22企業中の18企業である。その業種を表-1に示す。なお、集計データは2005年度に統一し、月別平均データとして整理した。

なお既報では、物質フローについて、4品目（金属、無機物、プラスチック、バイオマス）別に再生资源化率を算定したが、リサイクル処理工程に投入された資源・エネルギー、排出された排気・排水については分析していない。また、空間解析としては市内率の算定をしたのみに留まっているが、本研究では、リサイクル処理工程に投入された資源・エネルギー、排出された排気・排水データも用いてLCA手法により環境負荷削減効果を算出する。さらに、資源の投入産出構造についても、空間構造、産業部門ともにより詳細に分析する。

3. 北九州エコタウン事業のMFA

(1) 投入産出構造の分析

図-2は、単独企業のマテリアルバランスを示す。これについて、18企業分のデータを集計して企業毎の物質収支表を作成し、収支が一致しない場合には、投入側データを優先させ、産出側の調整は重量で比例配分する方法でバランス調整を行った。具体的には、収支評価対象とした18企業の物質フローをまとめて表したのが図-2である。ここでは、投入された循環資源、廃棄物、産出された再生資源、廃棄物以外にも、燃料、用水等のユーティ

リティ、環境中へ放出されたCO₂排出、蒸発、下水放流についても分析した。これは事業活動に付随して発生する、水・エネルギーといった資源投入やCO₂排出等の環境負荷を捉えるためであり、次章のLCAの解析にも用いる。また、立地企業データの単純な積算ではなく、溶融施設を用いたサーマルリサイクルも含めて、エコタウン域内の相互連携も考慮する必要がある。そのために、ダブルカウントが起らないような配慮をしつつ、域内の相互連携フローについては、市内とは別に集計、表示した。

以上により、循環資源・廃棄物のフローだけでなく、事業活動に起因する物質フロー全体を包括的に把握することが可能となった。図-3に示すとおり、北九州エコタウン事業における循環資源の搬入量は年間約250千t、再生資源、再商品化物の搬出量は約216千tであることを把握した。また、市内率は投入側が約43%、産出側が約73%であることその他、CO₂、排水等の環境中へのアウトプット量についても明らかにした。

(2) 物質別輸送距離の詳細分析

投入、産出の各フローを、物質別・距離帯別に詳細に分析する。距離については、北九州エコタウンを中心として、20 km, 50 km, 300 km, 500 km, 1,000 km, 1,000 km以上とした。すなわち、北九州市内、福岡県内、九州圏内、東京圏まで、それ以上という距離に概ね対応している。また、物質別の分類であるが、前報¹¹⁾の4分類をさらに14分類まで細分化した。これにより「地域循環圏」について考察を試みた。

結果を図-4, 5に示す。投入側では、50～300 km圏から搬入されるものが多く（約80%）、300～1,000 km圏内からが少なくなることがわかる。これから、概ね50～300 km圏というのが、エコタウンで再生処理される物質の循環圏といえる。1,000 kmを越えるエリアからの搬入もあることも見逃せないが、これはプラスチック、鉄、木材等である。複合部材による特殊製品で、業界内でリサイクル拠点が少なくなることが主な理由である。一方、産出側では、20 km圏内が多く、全体の約69%である。特に、鉄が多いが、これは北九州市の産業構造に起因している。建設廃棄物で20 kmの場合の多くは、エコタウン域内の相互連携である。非鉄やプラスチックの場合は、市内に再商品化できる産業が無い場合は距離が長くなる。また、特殊なガラスやリユース部品等で1,000 kmを超えるようなケースもある。

表-2 LCAの実施概要

対象	北九州エコタウン建設会社18社
イベントリ分析の原単位	建設のLCA、JEMAI-LCA、文豪資料、ecoセレデータ
評価指標	CO2 Sox Nox 資源消費
評価対象時期	マテリアルフローの月間データをもとに年間値を算出
ソフトウェア環境データ(P) (サイクルプロセス)	① 不明データは業界平均値等を利用 ② パラメータ調整を行い、物質収支を収束 ③ エリアリザ ④ 事業計画の代替関係を設定(買付、量) ⑤ 事業計画の代替関係は、廃除
バックアップデータ(輸送、廃棄プロセス)	
バックアップデータ(P) (サイクルの代替関係)	

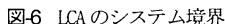


図-6 LCAのシステム境界

4. 北九州エコタウン事業のLCA

(1) 手法概要

3章で集計した物質フローデータを用いて算出した。また、3章で触れた物質フローデータ以外にも、同時に調査した、搬入・搬出時の運搬方法、廃棄物の処理方法、代替効果を算出するために必要となる再商品化の製品情報についても用いた。LCAの実施概要は、表-2に示すとおりである。また、図-6に、企業単位のLCAのシステム境界を示す。破線内が評価対象範囲であり、リサイクル工程は、北九州エコタウンに立地する各企業の処理工程を意味する。再商品化工程の結果算出される製品は、このリサイクルループにより天然資源消費の一部あるいは全部を削減できる。同様に、従来廃棄物処理・処分していた工程も不要となる。これら天然資源代替効果、廃棄物処理・処分工程削減効果を算出するために、製品ごとに個別に比較対照システムを設定し（表-3）、クレジット法にて差し引く。

なお、評価指標には、CO₂と資源消費指数を用いる。

(2) LiCO_2 における評価

CO₂排出原単位は、主に日本建築学会¹³⁾と産業環境管理協会¹⁴⁾のものを用了が、状況に応じて他も含め複数のデータベースに頼った。北九州エコタウンに立地する18企業のLCOO₂の評価結果は表4、図7に示す値となった。輸送時に約 $9.5 \times 10^3 \text{ t-CO}_2/\text{年}$ 、リサイクル工程で約 $53 \times 10^3 \text{ t-CO}_2/\text{年}$ 、廃棄物処理で約 $1.1 \times 10^3 \text{ t-CO}_2/\text{年}$ の排出という結果となった。各企業のリサイクル処理による天然資源代替効果は、約 $272 \times 10^3 \text{ t-CO}_2/\text{年}$ となった。

表-3 環境負荷削減効果算定の際の
比較対照製品・サービス

評価対象のリサイクル事業	リサイクル対象品目	比較対象製品・サービス
飲料容器	アルベレット	アルミニウム
	アルミ粉	アルミニウム二次地金製造
	スチールベレット	粗鋼(転炉)
飲料容器	鉄粉	粗鋼(電気炉)
	鉄	粗鋼(転炉) 粗鋼(電気炉)
	アルミ	アルミニウム アルミニウム二次地金製造
パチンコ台	サーマルリサイクル(プラスチック)	エネルギー換算(コークス)
	ABS/PC樹脂原料(プラスチック)	ABSナチュラルベレット
	鉄	粗鋼(転炉) 粗鋼(電気炉)
	非鉄	アルミニウム
	木(外枠) 木(ゲージ板)	アルミニウム二次地金製造 木材チップの製造～輸送
プリンタートナー	サーマルリサイクル(プラスチック)	エネルギー換算(コークス)
	カートリッジ アルミ	PP(成型品) アルミニウム
建設混合廃棄物	鉄	アルミニウム二次地金製造
	粗鋼(転炉)	粗鋼(電気炉)
	サーマルリサイクル(プラスチック)	エネルギー換算(コークス)
	木材チップ 異種混合材料(再生路盤材) スクラップ(金属)	木材チップの製造～輸送 砂/砂利砕石 粗鋼(転炉)
	鉄(サーマルリサイクル)	粗鋼(電気炉)
建設混合廃棄物	後石質ボート(建設混合廃棄物) がれき質 金属くず	エネルギー換算(コークス) 砂/砂利砕石 砂/砂利砕石
	粗鋼(転炉)	粗鋼(電気炉)
	サーマルリサイクル(木)	エネルギー換算(コークス)
	サーマルリサイクル(プラスチック)	エネルギー換算(コークス)
	サーマルリサイクル(紙)	エネルギー換算(コークス)
医療用具	サーマルリサイクル(繊維)	エネルギー換算(コークス)
	PE、PPなど ガラスくず 金属	砂/砂利砕石
蛍光管	紙、繊維、その他	粗鋼(転炉)
	サーマルリサイクル(プラスチック)	エネルギー換算(コークス)
	ガラスカレット	粗鋼(転炉)
	金属(アルミ)	粗鋼(転炉)
	金属(鉄)	粗鋼(電気炉)
古紙	金属(アルミ)	粗鋼(転炉)
	電光体	粗鋼(電気炉)
	ハロリン酸カルシウム	粗鋼(転炉)
	サーマルリサイクル	粗鋼(電気炉)
	あんじん君	粗鋼(転炉)
ペットボトル	再生紙原料	粗鋼(転炉)
	PETベレット樹脂	粗鋼(電気炉)
OA機器	サーマルリサイクル(プラスチック)	粗鋼(転炉)
	鉄くず	粗鋼(電気炉)
家電	プラスチック	粗鋼(転炉)
	アルカリガラス	粗鋼(電気炉)
	珪ガラス	粗鋼(転炉)
	珪	粗鋼(電気炉)
	鉛バッテリー	粗鋼(転炉)
家電	サーマルリサイクル	粗鋼(電気炉)
	ガラスカレット	粗鋼(転炉)
	鉄	粗鋼(転炉)
	アルミ	粗鋼(電気炉)
	銅	粗鋼(電気炉)
有機溶剤	プラスチック	粗鋼(電気炉)
	ガラス	粗鋼(転炉)
	プリント基板	粗鋼(電気炉)
	サーマルリサイクル	粗鋼(電気炉)
	トルエン	粗鋼(電気炉)
食用油	プラスチック	粗鋼(電気炉)
	珪	粗鋼(転炉)
	アルミ	粗鋼(電気炉)
	鉛バッテリー	粗鋼(転炉)
	ガラス	粗鋼(電気炉)
食用油	サーマルリサイクル	粗鋼(電気炉)
	エスチル燃料	粗鋼(電気炉)
	硬水材	粗鋼(電気炉)
	石けん原料	粗鋼(電気炉)
	試料	粗鋼(電気炉)
食用油	廃白土	粗鋼(電気炉)
	油かす	粗鋼(電気炉)
	サーマルリサイクル	粗鋼(電気炉)
	エスチル燃料	粗鋼(電気炉)
	硬水材	粗鋼(電気炉)
食用油	石けん原料	粗鋼(電気炉)
	試料	粗鋼(電気炉)
	廃白土	粗鋼(電気炉)
	油かす	粗鋼(電気炉)
	サーマルリサイクル	粗鋼(電気炉)

以上により、18企業による環境負荷削減効果は、約 $208 \times 10^3 \text{ t-CO}_2/\text{年}$ という結果が得られた。

表-3 環境負荷削減効果算定の際の
比較対照製品・サービス (続き)

評価対象のリサイクル事業	リサイクル対象品目	比較対照製品・サービス
自動車	車体プレス	粗鋼(転炉) 粗鋼(電気炉) 破砕
	鉄くず	粗鋼(転炉) 粗鋼(電気炉)
	アルミインゴット	アルミニウム
	ワイヤーハーネス	銅電線 破砕
	バッテリー	粗鋼(転炉) 粗鋼(電気炉)
	ガラス	破砕 リサイクル瓶の製造
	サーマルリサイクル	コークス
	PSベレット	PS樹脂の製造
	遠赤顔料	砂/砂利砕石
	木材・廃プラ	天然木材 廃木材・廃プラ処理、処分
複合中核施設	鉄	粗鋼(転炉) 粗鋼(電気炉)
	プラスチック	破砕 ポリスチレン
	紙	破砕 木材チップの製造・輸送
	アルミ	アルミニウム
	鉛バッテリー	鉛 鉛地金製造
	ガラス	破砕 リサイクル瓶の製造
	サーマルリサイクル	材質不明品・汚れ品 ウレタン・ゴム・スポンジ
	電力	紙 電力

表-4 立地企業における LCI の分析結果

ライフサイクルステージ	Energy 10 ³ GJ	CO ₂ 10 ³ t-CO ₂	SOx t-SO ₂	NOx t-NO ₂
運搬	144	9.5	14	63
リサイクル工程	414	53	30	50
廃棄物処理	19	1.1	1.0	1.7
リサイクルによる効果	-3,399	-272	-471	-576
合計	-2,823	-208	-425	-461

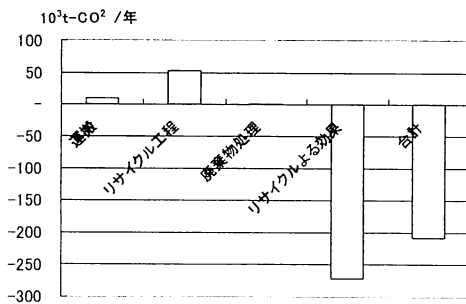


図-7 インベントリ分析による環境負荷削減効果(CO₂)

(3)資源消費指数における評価

元来、循環型社会構築の目的は、最終処分量の削減とともに資源の有効利用が目的とされる。そのため、本報では資源消費を重視した評価も重要であると考え、資源消費指数を採用した。資源消費の算出式は以下で示される¹⁵⁾。

$$\text{資源消費} = \sum (\text{材料重量} \times \text{資源枯渇性特性化係数}) \quad (1)$$

資源枯渇性特性化係数とは、鉄1トンの消費相当に匹敵する資源消費を表す特性化係数として重み付けされたものである。以上により、資源消費が鉄何トン相当の資

源消費に匹敵するかを定量評価できる。

図-8 に、資源枯渇性特性化係数を用いた資源消費の算出結果を示す。投入エネルギーにより約 6,300、輸送工程で約 1,700 の資源消費の負荷があることがわかった。一方、マテリアルリサイクルで約 140×10³、サーマルリサイクルで約 17,000、そして廃棄物処理削減で約 4,300 の資源消費削減効果があることがわかった。合計すると約-150×10³となる。これは北九州エコタウンに立地する18企業によって、年間に約150×10³分の鉄資源に相当する資源消費の削減効果があるという意味である。図-9 は、資源消費指数で算出された値のうち、消費削減効果を物質別に分類したものである。これを見ると、鉄・非鉄金属による資源消費削減効果が圧倒的に大きいことがわかる。

5. マテリアルバランス表を用いた北九州エコタウン事業の寄与度分析

(1)マテリアルバランス表の枠組み

本章では、北九州市におけるエコタウン事業の位置づけを把握するため、産業連関表の枠組みを利用し北九州

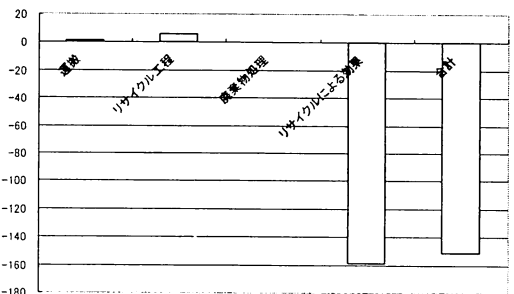


図-8 資源枯渇性特性化係数を用いた資源消費指数算出結果

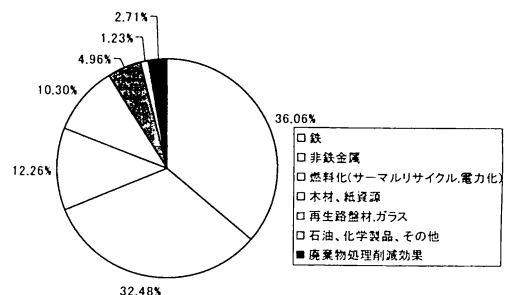


図-9 資源消費指数による負荷削減効果の物質別分類

市マテリアルバランス表を作成し、都市レベルの資源循環構造分析を試みた。マテリアルバランス表の枠組みを以下の表-5,6に示す。この枠組みはSVA産業連関表をベースに田畑ら¹⁰⁾が作成した投入表と産出表の二表を用いたものを基盤としている。この枠組みを利用することで、部門への物質の投入と部門からの物質の産出をそれぞれ別々に把握することが可能となる。ここでは総計(1)と(3)、同様に総計(2)、(4)については、それぞれバランス調整を実行している。

(2)マテリアルバランス表の分析結果

マテリアルバランス表を元に作成した北九州市のマテリアルフローを図-10に示す。全体を囲む枠は北九州市の境界を表し、市域をまたぐ移出入（輸出入を含む）も含めて都市の資源循環構造を表現している。また、北九州エコタウンをセクターの1つとして加え、それへの物質の投入・産出を加えることで、北九州市の資源循環構造におけるエコタウンの位置づけを把握した。

(3)エコタウン事業の全市の物質フローに占める位置づけ

マテリアルバランス表を元に、エコタウン事業の全市に対する寄与度を分析した（表-7）。その結果、循環利用率で2.3%、リサイクル率で4.0%という結果が得られた。エコタウンの循環利用率、リサイクル率が大変高い値となっているが、これは、エコタウンに立地している企業はリサイクル産業が中心であり、循環資源を主要な投入物とし、可能な限りリサイクル残さを少なくする努力をしているため当然といえる。

なお、今回はマテリアルバランス表の年次とエコタウンのデータが一致していない問題が存在する。また、これらの分析を複数年度分を作成することで、エコタウンを含む都市の資源循環構造の変化について分析することが可能となる。そのため、エコタウンの物質フローの継続的調査体制が必要といえる。

表-5 投入表の枠組み

物質			部門			産業部門	廃棄物処理部門	最終消費形成部門	移出	在庫・固定資本	物質の放出及びストック	総計(1)
			一次	二次	三次							
原材料	バーজন	市全体	Xvp ⁱⁿ	Xvs ⁱⁿ	Xvt ⁱⁿ	Xvw ⁱⁿ	Xvf ⁱⁿ	Xvo ⁱⁿ	Xvk ⁱⁿ	Xva ^{out}	Tv ⁱⁿ	
		北九州エコタウン	Evpin ⁱⁿ	Evs ⁱⁿ	Evt ⁱⁿ	Evw ⁱⁿ	Evf ⁱⁿ	EXo ⁱⁿ	EXk ⁱⁿ	EXa ^{out}	ETv ⁱⁿ	
	リユース・リサイクル	市全体	Xrp ⁱⁿ	Xrs ⁱⁿ	Xrt ⁱⁿ	Xrw ⁱⁿ	Xrf ⁱⁿ	Xro ⁱⁿ	Xrk ⁱⁿ	Xra ^{out}	Tr ⁱⁿ	
		北九州エコタウン	Erp ⁱⁿ	Ers ⁱⁿ	Ext ⁱⁿ	EXw ⁱⁿ	Er ⁱⁿ	Ero ⁱⁿ	Erk ⁱⁿ	Era ^{out}	ETr ⁱⁿ	
製品	商品	市全体	Xgp ⁱⁿ	Xgs ⁱⁿ	Xgt ⁱⁿ	Xgw ⁱⁿ	Xgf ⁱⁿ	Xgo ⁱⁿ	Xgk ⁱⁿ	Xga ^{out}	Tg ⁱⁿ	
		北九州エコタウン	Egp ⁱⁿ	Egs ⁱⁿ	Egt ⁱⁿ	EGw ⁱⁿ	Egf ⁱⁿ	Ego ⁱⁿ	Egk ⁱⁿ	Ega ^{out}	ETg ⁱⁿ	
	エネルギー	市全体	Xep ⁱⁿ	Xes ⁱⁿ	Xet ⁱⁿ	Xew ⁱⁿ	Xef ⁱⁿ	Xeo ⁱⁿ	Xek ⁱⁿ	Xea ^{out}	Te ⁱⁿ	
		北九州エコタウン	Eep ⁱⁿ	Ees ⁱⁿ	Eet ⁱⁿ	Eew ⁱⁿ	Eef ⁱⁿ	Eeo ⁱⁿ	Eek ⁱⁿ	Eea ^{out}	ETe ⁱⁿ	
廃棄物	一般廃棄物	市全体	*	*	*	Xmw ⁱⁿ	*	Xmo ⁱⁿ	*	Xma ^{out}	Tm ⁱⁿ	
		北九州エコタウン	*	*	*	Emw ⁱⁿ	*	Emo ⁱⁿ	*	Ema ^{out}	ETm ⁱⁿ	
	産業廃棄物	市全体	*	*	*	Xiw ⁱⁿ	*	Xio ⁱⁿ	*	Xia ^{out}	Ti ⁱⁿ	
		北九州エコタウン	*	*	*	Eiw ⁱⁿ	*	Eio ⁱⁿ	*	Eia ^{out}	ETi ⁱⁿ	
総計(2)		市全体	Tp ⁱⁿ	Ts ⁱⁿ	Tt ⁱⁿ	Tw ⁱⁿ	Tf ⁱⁿ					
		北九州エコタウン	ETp ⁱⁿ	ETs ⁱⁿ	ETt ⁱⁿ	ETw ⁱⁿ	ETF ⁱⁿ					

表-6 産出表の枠組み

物質 部門			原材料		製品		廃棄物		物質の放出 及びストック	総計(4)	環境負荷 物質
			バージン	リユース・ リサイクル	商品	エネルギー	一般廃棄物	産業廃棄物			
産業部門	一次	市全体	X _{vp} ^{out}	X _v ^{out}	X _{gp} ^{out}	-	-	X _{ip} ^{out}	X _{ap} ^{out}	T _p ^{out}	L _p
		北九州エコタウン	E _{vp} ^{out}	E _v ^{out}	E _{gp} ^{out}	-	-	E _{ip} ^{out}	E _{ap} ^{out}	ET _p ^{out}	EL _p
	二次	市全体	-	X _{rs} ^{out}	X _{gs} ^{out}	X _{es} ^{out}	-	X _{is} ^{out}	X _{as} ^{out}	T _s ^{out}	L _s
		北九州エコタウン	-	E _{rs} ^{out}	E _{gs} ^{out}	E _{es} ^{out}	-	E _{is} ^{out}	E _{as} ^{out}	ET _s ^{out}	EL _s
	三次	市全体	-	-	-	-	-	X _{it} ^{out}	X _{at} ^{out}	T _t ^{out}	L _t
		北九州エコタウン	-	-	-	-	-	E _{it} ^{out}	E _{at} ^{out}	ET _t ^{out}	EL _t
廃棄物処理部門	市全体	-	X _{rw} ^{out}	-	-	X _{mw} ^{out}	X _{iw} ^{out}	X _{aw} ^{out}	T _w ^{out}	L _w	
	北九州エコタウン	-	E _{rw} ^{out}	-	-	E _{mw} ^{out}	E _{iw} ^{out}	E _{aw} ^{out}	ET _w ^{out}	EL _w	
最終消費形成部門	市全体	-	X _{rf} ^{out}	-	-	X _{mf} ^{out}	-	X _{af} ^{out}	T _f ^{out}	L _f	
	北九州エコタウン	-	E _{rf} ^{out}	-	-	E _{mf} ^{out}	-	E _{af} ^{out}	ET _f ^{out}	EL _f	
移輸入	市全体	X _{vo} ^{out}	X _{ro} ^{out}	X _{go} ^{out}	X _{eo} ^{out}	X _{mo} ^{out}	X _{io} ^{out}				
	北九州エコタウン	E _{vo} ^{out}	E _{ro} ^{out}	E _{go} ^{out}	E _{eo} ^{out}	E _{mo} ^{out}	E _{io} ^{out}				
在庫・固定資本	市全体	-	-	-	-	X _{mk} ^{out}	X _{ik} ^{out}				
	北九州エコタウン	-	-	-	-	E _{mk} ^{out}	E _{ik} ^{out}				
総計(3)	市全体	T _v ^{out}	T _r ^{out}	T _g ^{out}	T _e ^{out}	T _m ^{out}	T _i ^{out}			TL	
	北九州エコタウン	ET _v ^{out}	ET _r ^{out}	ET _g ^{out}	ET _e ^{out}	ET _m ^{out}	ET _i ^{out}			ETL	

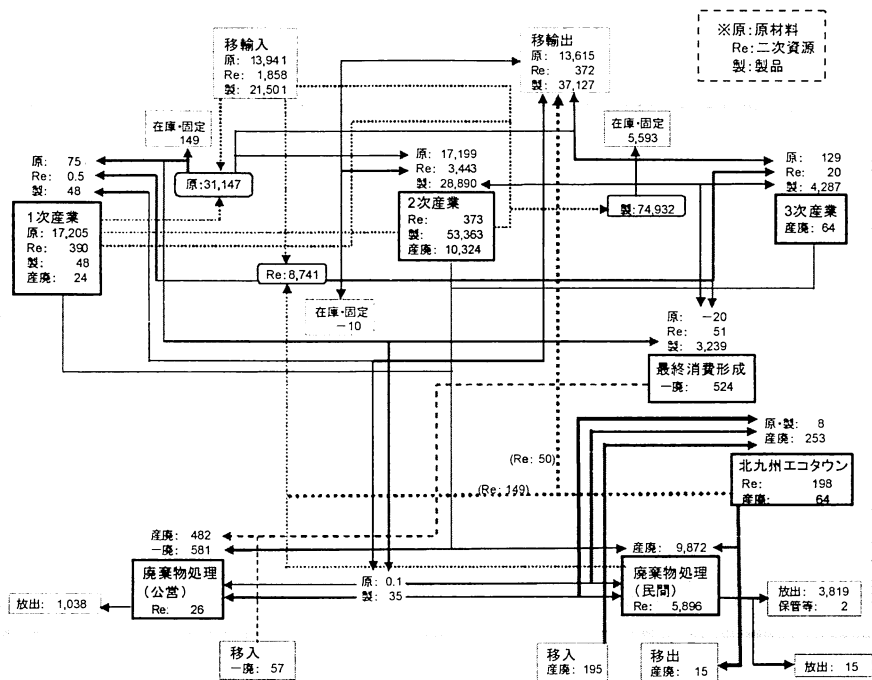


図-10 エコタウンを含めた北九州市のマテリアルフロー

表-7 マテリアルバランス表におけるエコタウンの評価指標と寄与度

	H12北九州市	H12全国	エコタウン	エコタウンの寄与度
資源生産性(千円/ト)	244.6	280.0		
循環利用率(%)	21.9	10.0	96.1	2.3
最終処分率(%)	13.0	12.0	4.3	0.8
リサイクル率(%)	55.7	41.6	92.6	4.0

資源生産性: バージン原材料1単位あたりの地域内総生産額
 循環利用率: 原材料のうち、再生資源(含、廃棄物・循環資源)の投入割合
 最終処分率: 排出量のうち、最終処分量の割合
 リサイクル率: 排出された廃棄物のうち、リサイクルされる割合

6. まとめと今後の課題

本研究では、地域資源循環拠点の持つ環境負荷削減効果を総合的に評価するために、エコタウン事業を対象に、その物質フロー調査で得た情報を基に、MFAによる循環資源の距離帯別輸送距離分析、LCAによるエコタウン事業の環境負荷削減効果、産業連関表の枠組みを利用したマテリアルバランス表の作成とそれを用いた都市レベルの資源循環構造分析、エコタウンの寄与度分析の手法を提示し、北九州エコタウンについて評価した。その結果、次のような成果を得た。

- ・エコタウン立地企業の物質フロー調査を基に、MFA及びLCA手法を用いることで、エコタウンの環境負荷削減効果を定量評価する手法を示した。
- ・都市マテリアルバランス表を適用して、都市の資源循環構造の分析とその中におけるエコタウンの役割を定量評価する手法を提示した。なお、今回のレベル

(表-7) のエコタウンの評価指標並びに寄与度分析のために必ずしも詳細なマテリアルバランス表(表-5、6)が必要となるわけでないが、より詳細な品目別分析を行う場合には有効となる。

- ・エコタウンの投入・産出に関わる輸送構造を分析した。その結果、北九州エコタウンの場合、「地域循環圏」において50～300 kmの広域的な資源循環に対して大きな役割を果たしていることが判明した。一方、搬出側を見ると、再生品の資源需要が身近にあることがエコタウンの立地要件として重要であるという仮説が見えてきた。これは二次資源の需要先の確保やリサイクル産業の技術的・経営的資源の存在といった面が要因と考えられるが、この実証には別途経営的観点からの調査が必要となる。

今後の研究課題としては次のように考えている。

- ・「地域循環圏」におけるエコタウンの役割について、さらに物質別、地域別の詳細な分析が必要である。そのためには、複数地域を対象とした悉皆調査が必要である。
- ・アジア諸国のエコタウン建設への日本の経験移転のためには、物質フローと制度面あるいは資源循環に係わる主体(企業経営)の面での、定性・定量双方に係わる分析をさらに深化させることが必要である。

謝辞：本研究を進めるにあたり，北九州エコタウン立地企業，ならびに北九州市環境局環境産業政策室の方々には多大な協力をいただいた。記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 中央環境審議会循環型社会計画部会(2007. 12. 7)公開資料「地域循環圏について」, 2007.
- 2) 松本 亨：中国青島市におけるエコタウン（静脈産業園）建設の現状と展望，季刊環境技術会誌，No.130，pp.23-27，2008.
- 3) 松本 亨・劉 娟・小柳秀明・萩原 朗：中国における資源循環拠点形成の現状と課題：青島市と北九州市の国際比較からの含意，第 35 回環境システム研究論文発表会講演集，pp.135-141, 2007.
- 4) 山田正人, 大迫政浩, 渡辺征夫, 齊藤聡, 藤井崇: 秋田県エコタウン事業の構造分析, 第 13 回廃棄物学会研究発表会, pp.200-201, 2002.
- 5) 柴田智久, 角田芳忠：流域圏における循環資源のマテリアルフロー分析，平成 16 年度北海道大学大学院循環資源評価学（タクマ）講座活動報告書，pp.112-116, 2005.
- 6) 藤田 壮，長澤恵美里，大西 悟，杉野章太：川崎エコタウンでの都市・産業共生の展開に向けての技術・政策評価システム, 環境システム研究論文集, Vol.35, pp.89-100, 2007.
- 7) Jacobsen, N.B.: Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark: A Quantitative Assessment of Economic and Environmental Aspects, Journal of Industrial Ecology, Vol. 10, Issue 1-2, pp. 239-255.
- 8) Chamondusit, K., P. Rungrasri and K. Tappat: Current Activities toward to Eco-industrial Estate of Map Ta Phut Industrial Estate, Thailand, Abstract Book of the 4th International Conference of the International Society for Industrial Ecology, p. 35, 2007.
- 9) 鶴田 直・松本 亨・柴田 学・垣迫裕俊・篠原弘志：環境会計と LCA の連携による地域資源循環施策の評価手法の開発，第 32 回環境システム研究論文発表会講演集，pp. 223-228, 2004.
- 10) 松本 亨・鶴田 直・柴田 学：マテリアルフロー分析と LCA による北九州エコタウン事業の評価，環境情報科学論文集 19, pp. 473-478, 2005.
- 11) 左 健、松本 亨、石本康治、岩本正秋：廃プラスチックと廃木材を利用した人工木材のライフサイクルインベントリ分析，第 17 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp. 281-283, 2006.
- 12) 乙間 末廣・松本亨・坂口 寿志：北九州エコタウンにおけるマテリアルフロー調査と分析，廃棄物学会誌，Vol. 18, No. 6, pp. 410-416, 2007.
- 13) 日本建築学会(2003) 建物の LCA 指針(案) LCA データベース.
- 14) JEMAI(社団法人 産業管理協会) LCA データベース.
- 15) 社団法人環境情報科学センター 資源枯渇性特性化係数(2007 年度版).
- 16) 田畑智博，井村秀文：循環型地域社会形成支援のためのマテリアルバランス表の開発とその適用に関する研究，環境科学会誌，Vol. 19, No. 4, pp. 329-343, 2006.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT IN EFFECT OF ENVIRONMENTAL ROAD REDUCTION OF REGIONAL RESOURCE CIRCULATION BASE

Toru MATSUMOTO, Eiji KATSUHARA, Tadashi TSURUTA and
Atsushi FUJIYAMA

This study aimed to conduct a comprehensive assessment in order to quantitatively and fundamentally understand the role of Japanese Eco-town projects in relation to material circulation. For this objective, the contribution of Eco-town in regional and national material circulation was analyzed by using flow data for materials passing through Kitakyushu Eco-town. First, material flow in Kitakyushu Eco-town was examined. In addition, inputs into Eco-town were classified by distance from origins, and outputs from there classified by distance to destinations. As the next step, the structure of material circulation for the whole city of Kitakyushu including Eco-town was analyzed. Based on these results, four indicators were defined (resource productivity, usage rate of recycled material, rate of final disposal and recycling rate) for evaluation of the contribution of Eco-town in regional material circulation.